

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10324592 A**

(43) Date of publication of application: 08 . 12 . 98

(51) Int. Cl.

C30B 15/14
C30B 15/20
C30B 29/06

(21) Application number: 09134687

(22) Date of filing: 26 . 05 . 97

(71) Applicant: **SUMITOMO METAL IND LTD**

(72) Inventor: OKUI MASAHICO
MIYAHARA SHUNJI
FUJIWARA TOSHIYUKI
KUBO TAKAYUKI
FUJIWARA HIDEKI
INAMI SHIJIUCHI

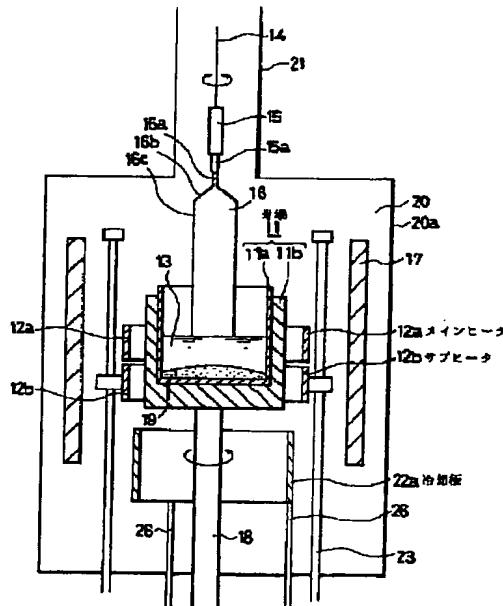
(54) APPARATUS FOR PULLING UP SINGLE CRYSTAL

main heater 12a and the sub-heater 12b.

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problems associated with the conventional apparatus for pulling up single crystals by a DLCZ method, i.e., the control of the thickness and melting rate of a solid layer is difficult and it takes time for formation of the solid layer with the conventional apparatus as these apparatus are not provided with cooling means; heaters are liable to breakage in case a molten layer solidifies as the heaters are fixed to the apparatus; and the heat history of the pulled up single crystal is not made uniform and the deposition state of oxygen is nonuniform in the heat treatment of a wafer after the manufacture of the wafer as the apparatus are not provided with means for applying the heat treatment to the single crystal to be pulled up.

SOLUTION: This apparatus for pulling up the single crystal includes a crucible 11 to be packed with raw materials for the crystal and a main heater 12a and sub-heater 12b disposed on the circumference of this crucible 11. Moving means for making these heaters movable in a vertical direction or radial direction are attached to at least one stage of the heaters of the



(51) Int.Cl.⁶
 C 30 B 15/14
 15/20
 29/06 識別記号 5 0 2

F I
 C 30 B 15/14
 15/20
 29/06

5 0 2 E

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全16頁)

(21)出願番号 特願平9-134687
 (22)出願日 平成9年(1997)5月26日

(71)出願人 000002118
 住友金属工業株式会社
 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
 (72)発明者 奥井 正彦
 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
 住友金属工業株式会社内
 (72)発明者 宮原 俊二
 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
 住友金属工業株式会社内
 (72)発明者 藤原 俊幸
 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
 住友金属工業株式会社内
 (74)代理人 弁理士 井内 龍二

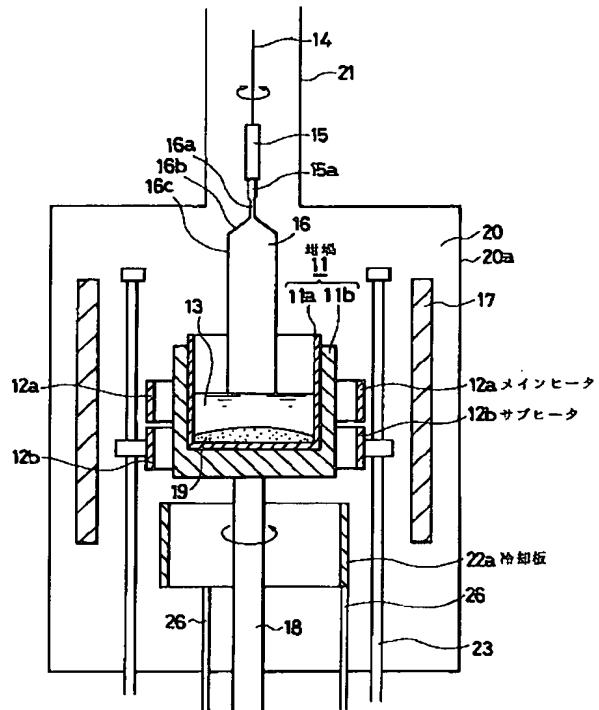
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 単結晶引き上げ装置

(57)【要約】

【課題】 従来のDLCZ法による単結晶引き上げ装置においては、冷却手段を備えていないために固体層の厚さや溶解速度の制御が難しく、固体層形成に時間がかかり、ヒータが固定されているために溶融層が凝固した場合にはヒータが破壊し易く、引き上げられる単結晶に熱処理を施す手段を備えていないために引き上げられた単結晶の熱履歴が均一化されず、ウエハを作製した後のウエハの熱処理において、酸素の析出状態が不均一になるという課題があった。

【解決手段】 結晶用原料を充填する坩堝11及び坩堝11の周囲に配設されたメインヒータ12a及びサブヒータ12bからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、メインヒータ12a及びサブヒータ12bのうちの少なくとも一段のヒータにこのヒータを上下方向又は半径方向に移動可能とする移動手段が添設されている単結晶引き上げ装置とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを上下方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項2】 結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを前記坩堝の半径方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項3】 結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を上下方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項4】 前記冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されていることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の単結晶引き上げ装置。

【請求項5】 結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を半径方向に移動可能とする移動手段が配設されていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項6】 請求項5記載の冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が坩堝の周囲に配設されていることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の単結晶引き上げ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は溶融層法による単結晶引き上げに使用される単結晶引き上げ装置に関し、より詳細には、例えばLSI、CCD、太陽電池等の半導体材料として使用されるシリコン単結晶等の単結晶引き上げ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 単結晶を成長させるには種々の方法があるが、その方法の一つにチョクラルスキー法（以下、CZ法と記す）がある。図20は従来のCZ法に用いられる結晶引き上げ装置を模式的に示す断面図であり、図中、31は坩堝を示している。この坩堝31は有底円筒状の石英製内層容器31aと、この内層容器31aの外側に嵌合された有底円筒状の黒鉛製の外層保持容器31

10

20

bとから構成されており、坩堝31は図中矢印方向に所定速度で回転する支持軸38に支持されている。この坩堝31の外側には抵抗加熱式のヒータ32が、またヒータ32の外側には保温筒37がそれぞれ同心円状に配置されており、坩堝31内にはこのヒータ32により溶融させた結晶用原料の溶融液33が充填されている。また坩堝31の中心軸上には、支持軸38と同一軸心で同方向又は逆方向に所定の速度で回転する引き上げ棒、ワイヤ等からなる引き上げ軸34が吊設されており、この引き上げ軸34の先に配設されたシードチャック35に種結晶35aを取り付けるようになっている。この種結晶35aを溶融液33の表面に接触させて引き上げ軸34を結晶成長に合わせて回転させつつ上方へ引き上げることにより、溶融液33を凝固させて単結晶36を成長させている。

【0003】 ところで、半導体結晶をこの引き上げ方法

で成長させる場合、単結晶36の電気抵抗率、電気伝導

型を調整するために、引き上げ前に溶融液33中に不純

物元素を添加（ドーピング）する。しかし通常のCZ法

においては、添加した前記不純物濃度が単結晶36の結晶成長方向に沿って変化していく、いわゆる偏析現象が生じ、その結果、結晶成長方向に均一な電気的特性を有する単結晶36が得られないという問題があった。

【0004】 この偏析は、凝固の際の溶融液33と単結晶36との界面における単結晶36中の不純物濃度Cs

と溶融液33中の不純物濃度C1との比Cs/C1（実効偏析係数Ke）が1でないことに起因している。例え

ば実効偏析係数Ke < 1の場合、単結晶36が成長するに伴って溶融液33中の不純物濃度が次第に高くなつて

いき、単結晶36に偏析が生じるのである。従って、このようない方法で引き上げた単結晶の電気抵抗率を基準とした歩留りは低くなる。

【0005】 上記した不純物の偏析を抑制しながら単結晶を成長させる方法の一つとして、溶融層法（以下、DLCZ法と記す）が挙げられる。

【0006】 図21は該DLCZ法に用いられる単結晶

引き上げ装置を模式的に示した断面図であり、図20に

示したものと同様に構成された坩堝41内の上部にある

原料をヒータ42を使用して溶融させることにより、上

40層には溶融層43を、また下層には固体層49を形成する。そして、引き上げに伴って、固体層49を次第に溶融させていきながら、後は上記したCZ法による引き上げ方法と同様の方法で単結晶46を成長させる。

【0007】 前記DLCZ法として、今までに大きく分けて溶融層厚一定法及び溶融層厚変化法の二つの方法が提案されている。

【0008】 溶融層厚一定法は、単結晶46を引き上げる際、引き上げられた単結晶46の量に拘らず、坩堝41内における溶融層43の体積を一定に保つように、ヒータ42のパワーを調整し、固体層49を溶融させてい

50

く方法である。そして該方法のなかに、さらに不純物を含有しない固体層49を単結晶の引き上げに伴って溶融させつつ、不純物を連続的に添加して溶融層43の不純物濃度を一定に保つ方法（特公昭34-8242号公報、特公昭62-880号公報等）、及び固体層49中に先に不純物を含有させておき、不純物を添加せずに単結晶引き上げ中の溶融層43の不純物濃度を一定に保つ方法（特公昭62-880号公報、特開昭63-252989号公報等）の二つの方法がある。

【0009】一方、溶融層厚変化法は、意図的に溶融層43の液量を変化させることにより、単結晶引き上げ中に不純物を添加することなく溶融層43の不純物濃度C1を一定に保ち、単結晶中の不純物の偏析を抑制する方法であり、特開昭61-250961号公報、特開昭61-250692号公報及び特開昭61-215285号公報等に開示されている。

【0010】上述したようにDLCZ法により得られた単結晶46では、CZ法により得られたものに比較して、引き上げられた単結晶46の軸方向に関する不純物濃度がより一定値に近づくため、その電気抵抗率もより均一化され、電気抵抗率を基準とした歩留りが改善されるという利点がある。

【0011】しかし前記いずれのDLCZ法においてもヒータ42の位置は固定されており、結晶用原料を溶解させ易いように坩堝41を設定し、その後の単結晶の溶融及び引き上げは、ヒータ42のパワーを調整することにより行うので、完全に溶解量を制御することは難しく、その結果引き上げ時に溶融層43中の不純物濃度は完全に一定には保たれず、引き上げた単結晶中の電気抵抗率が一定になりにくいという問題があった。

【0012】また、固体層49の溶解量の制御及び溶融層43の温度条件の制御を一つのヒータ42で行うことは容易ではなかった。

【0013】このような溶融層の温度条件や固体層の溶解量をより良好に調節する方法として、上下2段に分割されたヒータが配設された単結晶引き上げ装置が提案されている。

【0014】図22は前記単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図であり、メインヒータ42a及びサブヒータ42bを除いた他の部分は図21に示した単結晶引き上げ装置と同様であるのでヒータ部分についてのみ説明する。

【0015】メインヒータ42aは坩堝41上部の外側に同心円状に配設され、このメインヒータ42aの下方にメインヒータ42aと略同一形状のサブヒータ42bが同様に配設されており、メインヒータ42a及びサブヒータ42bはそれぞれパワーが調整できるような電源装置に接続されている。

【0016】このように構成された単結晶引き上げ装置を用い、単結晶を引き上げる場合には、まず坩堝41を

所定の位置に移動させて固定し、メインヒータ42a及びサブヒータ42bを用いて、坩堝41内の結晶用原料を一旦全て溶解させ、溶融層43を形成する。次に、サブヒータ42bのパワーをオフにし、メインヒータ42aのパワーを下げて溶融層43の下側を凝固させ、固体層49を形成するとともに溶融層43内にドーピング用の不純物を添加して溶融させる。この後、メインヒータ42a及びサブヒータ42bのパワーを調整し、固体層49の溶解量を制御しつつ、上記したCZ法と同様の方法により単結晶を引き上げる（特開平5-24972号公報）。

【0017】このように、メインヒータ42a及びサブヒータ42bが配設された装置では、メインヒータ42aのパワーとサブヒータ42bのパワーとを個別に調整することにより、坩堝41の温度分布を制御することが可能になり、またサブヒータ42bの位置の設定の仕方により坩堝41の下部の特定の部位のみを選択的に冷却して固体層49の厚さを調整することが可能となる。

【0018】一方、単結晶中の不純物の制御のみでなく、酸素濃度の分布を制御して、さらに歩留りを上げようとする試みもある。単結晶中に含まれる酸素濃度を制御する試みとして、特開昭62-202892号公報においては、シリコン単結晶引き上げ装置のヒータの内側にヒータの温度分布を制御する断熱板が配設されたシリコン単結晶引き上げ装置が提案されており、この断熱板を上下に移動させて環境温度を制御することにより、石英坩堝とシリコン溶融液との反応速度を制御し、酸素濃度が $1.35 \sim 1.45 \times 10^{-18} [\text{cm}^{-3}]$ の範囲にあるシリコン単結晶を引き上げ可能であることが記載されている。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】しかし図22に示した二つのヒータ42a、42bが用いられた装置においては、単結晶46の引き上げを行う毎にメインヒータ42aやサブヒータ42bの消耗により発熱状態が微妙に変化してしまうため、固体層49の形成時にメインヒータ42a及びサブヒータ42bに対する坩堝41の相対位置を一定に設定しても、形成される固体層49の厚さが毎回変化してしまう。このため、一定の厚さを有する固体層49を形成することが困難であり、また形成された固体層49を溶解する際に再現性よく、固体層49の溶解量を制御することは難しいという課題があった。

【0020】また固体層49を形成する際、サブヒータ42bのパワーをオフにした後は、坩堝41を冷却する手段がないため溶融液43を効率よく冷却することができず、固体層49の形成に時間がかかり、その結果プロセス時間が長くなって生産効率が悪くなるという課題があった。

【0021】また、ヒータ温度の設定ミス等により坩堝41内の溶融層49が凝固した場合には、結晶化により

その体積が膨張し、坩堝41の変形により坩堝41とヒータ42a、42bとが接触するためヒータ42a、42bが破壊し易いという課題があった。

【0022】さらに、単結晶中の酸素濃度の制御に関しては、上記したような溶融層43中の酸素濃度の制御のみでは充分でなく、単結晶引き上げ中の単結晶46の温度環境を制御する必要がある。すなわち、単結晶46を引き上げる途中で引き上げられる単結晶46になんら熱処理を施さない場合、単結晶46の引き上げ軸方向に温度分布が生じ、得られた単結晶46はその部位により異なった熱履歴を経ることになる。引き上げられた単結晶46はウエハ等に切断、分割した後に熱処理を行って酸素を析出させるが、この熱履歴の違いのためにウエハ中の酸素の析出挙動が異なり、不均一性が生じるという問題点がある。しかし、上記したいずれの方法においても、このような単結晶の熱履歴の均一化は行われていなかつた。

【0023】この熱履歴を均一化する手段として、引き上げられた単結晶46を均一な温度に保持すべく、単結晶引き上げ領域に別のヒータが設けられた単結晶引き上げ装置が開示されている（特開平2-48491号公報、特開昭57-183393号公報、特開平3-33093号公報等）が、いずれも単結晶引き上げ領域に溶融層43の加熱に使用するヒータ42a、42bとは別のヒータが配設されているため、設備費が増大し、製品コストが高くなるという課題があった。

【0024】本発明はこのような課題に鑑みなされたものであり、DLCZ法において固体層の厚さやその溶解速度を任意に制御することができ、固体層を迅速に形成することができ、ヒータの破壊等の事故が発生しにくく、さらには単結晶の熱履歴を均一化して、歩留りの高い単結晶を安価に引き上げることができる単結晶引き上げ装置を提供することを目的としている。

【0025】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを上下方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴としている（1）。

【0026】上記（1）記載の単結晶引き上げ装置によれば、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを上下方向に移動可能とする移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また前記の場合と同様に溶融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊が防止される。また上記

した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段を用いて上下に移動させることにより、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また、坩堝中の溶融液が凝固しても、前記ヒータを移動させることにより、前記ヒータと前記坩堝との接触による破壊が防止される。また上記（1）記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0027】上記（1）記載の単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータや前記サブヒータ自身の材料や構成は従来より使用されているヒータと同様の円筒状のものでよいが、それぞれのヒータの幅は坩堝の大きさや形成する固体層の厚さ等により、最も適するように選択すればよい。前記メインヒータ及び／又はサブヒータに添設されている前記移動手段は特に限定されないが、例えばヒータの一部にネジ穴が切られた部材が固定され、該部材にはネジが切られたネジ付き棒が螺合され、該ネジ付き棒を回転させることにより、前記ヒータを上下に移動させることができる装置等の移動手段が挙げられる。

【0028】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを前記坩堝の半径方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴としている（2）。

【0029】上記（2）記載の単結晶引き上げ装置によれば、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを前記坩堝の半径方向に移動可能とする前記移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また前記の場合と同様に溶融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊が防止される。また上記

（2）記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0030】上記（2）記載の単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータや前記サブヒータの材料は従来より使用されているものでよいが、前記ヒータを坩堝の半径方向に移動できるように、円筒状のヒータは幾つかの部分に分割されている必要がある。移動手段としては

50 上記（1）記載の単結晶引き上げ装置と同様の手段を使

用することができる。

【0031】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を上下方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴としている(3)。

【0032】上記(3)記載の単結晶の引き上げ装置によれば、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に前記冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を上下方向に移動可能とする前記移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や前記冷却板の上下方向の移動により、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また上記(3)記載の単結晶の引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0033】上記(3)記載の単結晶引き上げ装置において、前記冷却板は前記サブヒータよりもさらに半径の小さい円筒状のものでよく、坩堝に一番近い位置で上下に移動できるような移動手段が添設されている必要がある。前記冷却板はW、Moのような金属やSiCのようなセラミックスにより作製されており、前記冷却板が近くに存在するヒータにより温度が上昇しないように冷媒がその内部に流通しているものが好ましい。前記冷却板の移動手段は、上記(1)記載の単結晶引き上げ装置において使用される前記移動手段と同様でよい。

【0034】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、前記冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されていることを特徴としている(4)。

【0035】上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、前記冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されている場合、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーを制御し、少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により上下、又は前記坩堝の半径方向に移動させ、前記冷却板を上下に移動させることにより、固体層がより迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がより正確になされ、単結晶の熱履歴が均一化される。また前記の場合と同様に溶融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊が防止される。

【0036】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設

されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を半径方向に移動可能とする移動手段が配設されていることを特徴としている(5)。

【0037】上記(5)記載の単結晶の引き上げ装置によれば、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に前記冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を半径方向に移動可能とする移動手段が配設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成し、前記二つのヒータのパワーを制御し、前記冷却板を前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また上記(5)記載の単結晶の引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0038】上記(5)記載の単結晶引き上げ装置において、前記冷却板自身の材料や構成は上記(3)記載の単結晶引き上げ装置の場合と同様でよく、前記移動手段は上記(2)記載の単結晶引き上げ装置の場合の移動手段と同様の移動手段を使用することができる。

【0039】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、(5)記載の冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されていることを特徴としている(6)。

【0040】上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、上記(5)記載の冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されている場合、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成し、前記二つのヒータのパワーを制御し、少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により上下、又は前記坩堝の半径方向に移動させ、前記冷却板を前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層がより迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がより正確になされる。また前記の場合と同様に溶融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊が防止される。また上記(6)記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0041】

【実施例及び比較例】以下、本発明に係る単結晶の引き上げ装置の実施例を図面に基づいて説明する。図1は本発明の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図であり、図中、20はメインチャンバーを示している。メインチャンバー20は円筒形状の真空容器20aにより構成され、図示しない水冷機構により水冷されている。メインチャンバー20のほぼ中央位置には

結晶用原料が充填された坩堝11が配設されており、坩堝11は有底円筒形状で内径が16インチ(約400cm)、高さが14インチ(約350cm)の石英製内層容器11aとこの内層容器11aの外側に嵌合された有底円筒状の黒鉛製外層保持容器11bとから構成されている。またこの坩堝11の底部の略中心箇所にはメインチャンバー20の底壁を貫通する支持軸18が取り付けられ、この支持軸18によって坩堝11は回転及び昇降可能に支持されている。

【0042】またこの坩堝11の外周上部には、例えば90mm程度の発熱長を有する抵抗加熱式のメインヒータ12aが、またその下部には同じ直径で例えば90mm程度の発熱長を有する抵抗加熱式のサブヒータ12bが同心円状に配設されており、その外側に保温筒17が周設されている。さらにサブヒータ12bの下方には、サブヒータ12bの直径よりも小さく、坩堝11に一番近い位置で上下に移動が可能な円筒形状の冷却板22aが配設されている。冷却板22aは、例えばWやMo等の金属やSiC等のセラミックスにより形成されており、特に耐熱性に優れたセラミックスにより形成されている場合は、サブヒータ12b等と坩堝11の間に挿入することにより、充分にその熱を遮断できるが、より効率よく冷却を行うためには、その内部に冷媒が流通できるような構造となっていることが好ましい。

【0043】サブヒータ12bはネジ付き棒23に取りつけられ、移動できるようになっている。メインヒータ12a及び冷却板22aも同様の移動手段(図示せず)が添設されている。これらのメインヒータ12a、サブヒータ12b及び冷却板22bの移動手段については、後に詳述する。

【0044】一方坩堝11の上方にはメインチャンバー20の上部に連設された小型ではほぼ円筒状のプルチャンバー21を通して引き上げ軸14が回転並びに昇降可能なように吊設されており、引き上げ軸14の下端にはシードチャック15が配設され、このシードチャック15に種結晶15aが装着されている。一方、坩堝11内の下部には固体層19が、そして上部には溶融層13がそれぞれ形成されており、坩堝11内の溶融層13中に種結晶15aの下端を浸漬した後、これを回転させつつ上昇させることにより、種結晶15aの下端から単結晶16を成長させようになっている。

【0045】前記したメインヒータ12a及びサブヒータ12bは、それぞれ別個にパワーを制御できるようにコントローラ(図示せず)に接続されている。

【0046】図2(a)は実施例に係る単結晶引き上げ装置中のサブヒータ12b及びそれに添設されている移動手段の一部を模式的に図示した平面図であり、図2

(b)はその側面図である。サブヒータ12bにはその一方の外側に移動用部材24が配設されており、その中心部はネジ孔24aが形成され、このネジ孔24aのネ

ジと同様のピッチになるようにネジが形成されたネジ付き棒23が移動用部材24に螺合している。また反対側には固定部材29が配設され、この固定部材29に支持棒30が固定されており、支持棒の上部30aは炉内に固定されたシリング31中に納められている。そしてネジ付き棒23はモータ25に連結されており、モータ25によりネジ付き棒23を時計回り又は反時計回りに回転させることにより、サブヒータ12bを上下に移動させるが、このとき支持棒30の上部はシリング31に納められた状態で摺動可能に支持されているので、サブヒータ12b全体がスムーズに上下方向に移動できるようになっている。ネジ付き棒23や支持棒31の材質は、WやMo等の金属やSiC等のセラミックスが好ましい。

【0047】また別の実施例として、両側に支持棒30が固定されたサブヒータ12bの支持棒30の下部が単結晶引き上げ装置の外部に設置された油圧シリンダーに納められ、前記前記油圧シリンダーによりサブヒータ12bが上下に移動できるように構成されたものでもよい。支持棒30の上部は図2の場合と同様にシリング31に納められた構造となつていればよい。

【0048】メインヒータ12aも同様の移動手段が配設されており、上下に移動させることができる。一方冷却板22aについては、例えば図3に示すような構成をとるのが好ましい。

【0049】図3(a)は実施例に係る単結晶引き上げ装置中の冷却板22a及びそれに添設されている移動手段の一部を模式的に図示した平面図であり、図3(b)はその側面図である。冷却板22aの下には支持及び冷媒流通用の支持部材26が配設され、この支持部材26の下部は図示しない油圧シリンダーに納められている。そして、この油圧シリンダーを操作することにより冷却板22aが上下に移動できるようになっている。冷却板22a及び支持部材26の内部は空洞状態であり、水やArやHe等の冷媒を支持部材26を通じて冷却板22a内に流通させることにより冷却を行うことができるが、冷却板内部の空洞の構造は導入された冷媒が効率よく熱交換できるよう、例えば図示しているような小さな貫通孔により連通した幾つかの部屋に分かれた構造とするのが好ましい。

【0050】このように構成された単結晶引き上げ装置を用いて単結晶を引き上げる場合は、まず坩堝11内に結晶用原料としてシリコンの多結晶65kgを充填し、その中にn型ドーパントのリンを0.6g添加する。チャンバー20内を約10TorのAr雰囲気にして後、メインヒータ12a及びサブヒータ12bのパワーをそれぞれ50kW程度、合計100kW程度に設定して全ての結晶用原料を一度溶解させる。次に、所望の固体層厚さになるようにサブヒータ12bのパワーをオフにし、メインヒータ12aのパワーを70kW程度に

し、メインヒータ12aの位置を調整し、さらに冷却板22aを上方に移動させる。

【0051】図4は冷却板22aをサブヒータ12b付近まで移動させた時の単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図である。このように冷却板22aをサブヒータ12b付近まで移動させることにより、坩堝11下部に対するメインヒータ12a及びサブヒータ12bからの放射熱を完全に遮断することができ、坩堝11からの放射熱冷却板22aにより吸収されるので、坩堝11中の溶融液は迅速に冷却され、溶融層13の下部に短時間で固体層13を成長させることができる。

【0052】このようにして固体層19を形成し、その量を安定させた後、種結晶15aの下側を溶融層13に浸漬し、坩堝11の回転数を1rpm、引き上げ軸14の回転数を10rpm、引き上げ速度を1.0mm/分の条件に設定してお互いに逆方向に回転させつつ結晶径約15.4mm、長さ約1000mmのシリコン単結晶16を引き上げる。

【0053】このとき、単結晶の引き上げがネック16a、ショルダー16bと移行し、ボディー16cに移ると、メインヒータ12aやサブヒータ12bのパワー、前記両ヒータの位置、冷却板22aの位置を調整し直し、前記した引き上げ条件が維持されるようにメインヒータ12a及びサブヒータ12bのパワーを調整しながら引き上げる。

【0054】図5は上記方法により固体層19を厚さ10.0mm形成するのに必要とした時間と、比較例として図22に示した従来の装置を用いた場合とを比較して示したグラフである。

【0055】図5より明らかなように従来の装置では固体層19を形成するのに約8時間程度かかったのに対し、本実施例の装置を用いた場合には約6時間程度で固体層19を形成することができ、固体層19の形成速度を早めて、1本当たりの単結晶引き上げ時間を短縮することができる。

【0056】次に、前記単結晶引き上げ装置を用い、単結晶引き上げ中に単結晶16の熱履歴を制御する方法について説明する。

【0057】この場合は図6に示したように、メインヒータ12aを引き上げる単結晶16の熱履歴を制御するためのヒータとして用いる。この場合、固体層19を形成した後、メインヒータ12aを坩堝11の上端より高い位置に移動させ、サブヒータ12bを坩堝11の中央付近に移動させて坩堝11上部の溶融層13を保持するために用いる。単結晶引き上げの条件は上記した場合と同様である。

【0058】図7は上記方法により得られた単結晶16を切断してウエハに分割し、得られたウエハに同じ熱処理を施した場合の、単結晶16の軸方向のトップからの距離とウエハにおける酸素の析出量との関係を示したグ

ラフである。比較例として図22に示した従来の装置を用いて得られた単結晶について、同様にして酸素の析出量を調べた結果を示している。

【0059】この図より明らかなように、単結晶引き上げ時に熱履歴を制御することによりすべて部位で、均一な酸素析出量を有する単結晶を得ることができる。

【0060】このように二つのヒータ12a、12bと坩堝11との位置関係を図6に示したような位置関係にすることにより、メインヒータ12aで単結晶16に熱を与えることができるようになり、その結果単結晶16の熱履歴を制御することができ、酸素の析出量を制御することができるとともに、単結晶の引き上げ過程で多数導入される格子欠陥や格子歪みを熱処理によって消滅させることもできるようになり、良質で均質な単結晶を得ることができるようになる。

【0061】また上記した構成の単結晶引き上げ装置を採用した場合、多量の結晶原料溶融液を凝固させてしまうような事態が生じても、ヒータ12a、12bを移動させることにより、溶融層13の凝固による体積膨張によってメインヒータ12a又はサブヒータ12bと坩堝11とが接触して坩堝11、メインヒータ12a又はサブヒータ12bが破壊するのを防止することができる。

【0062】次に、本発明に係る単結晶引き上げ装置の別の実施例を図面に基づいて説明する。図8は別の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図であり、図9は図8におけるA-A線断面図である。この装置においては、メインヒータ12cとサブヒータ12dとの構造を除いて図1に示した単結晶引き上げ装置と略同様であり、主にメインヒータ12c及びサブヒータ12dの構成について説明する。なお、保温筒については図示を省略している。

【0063】この実施例に係るメインヒータ12c及びサブヒータ12dは、いずれも発熱長が9.0mm程度の円筒状のヒータであり、坩堝11の周囲に配設されているが、坩堝11の半径方向に移動可能なように8個の部分に分割されており、図10に示す移動手段が添設されている。

【0064】図10(a)はサブヒータ12d及びその移動手段を示した平面図であり、図10(b)は坩堝11が配設されている方向から見た背面図である。サブヒータ12dの下側にはレール27上を摺動する摺動部材28が固定され、この摺動部材28を介してサブヒータ12dはレール27上を移動可能な構成となっている。摺動部材28の略中心部分にはネジ孔28aが形成され、このネジ孔28aのネジと同様のピッチになるようにネジの切られたネジ付き棒23bに摺動部材28が螺合している。そしてネジ付き棒23bはモータ25aに連結されており、モータ25aによりネジ付き棒23bを時計回り又は反時計回りに回転させることにより、サブヒータ12dを坩堝11の半径方向に移動させるように

なっている。摺動部材28及びレール27はサブヒータ12dの上下に配設するのが好ましく、ネジ付き棒23bは少なくとも上下のどちらかに配設されなければよい。メインヒータ12cも同様の移動手段により坩堝11の半径方向に移動させることができる。レール27の材質は、WやMo等の金属やSiC等のセラミックスが好ましい。

【0065】この装置に配設されている冷却板22aは、図1に示した冷却板22aと同様に構成されており、上下に移動可能である。

【0066】このように構成された単結晶引き上げ装置を用いて単結晶を引き上げる場合、メインヒータ12c及びサブヒータ12dを坩堝11の半径方向に移動させて加熱条件を変化させる他は、図1に示した単結晶引き上げ装置の場合と略同様の操作を行えばよい。

【0067】図11はシリコンの多結晶原料を全て溶解させた後、溶融層13の下部に固体層19を形成する場合の状態を模式的に示した縦断面図である。図示したように、メインヒータ12c、サブヒータ12d及び冷却板22aを移動させることにより、効率的に固体層19を形成することができる。

【0068】図12は上記した装置を用いて固体層19を厚さ100mm形成するのに必要とした時間を、比較例として図22に示した従来の装置を用いた場合とを比較して示したグラフである。

【0069】図12より明らかのように従来の装置では固体層49を形成するのに約8時間程度かかったのに対し、本実施例の装置を用いた場合では約6時間程度で固体層19を形成することができ、固体層19の形成速度を早めて、1本当たりの単結晶引き上げ時間を短縮することができる。

【0070】また、図13は単結晶を引き上げる際に単結晶の熱履歴を制御するために二つのヒータ12c、12dの位置を調整した場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示す縦断面図である。このようにメインヒータ12c及びサブヒータ12dを坩堝11から少し離して位置させることにより、ヒータ12c、12dによる加熱領域を広げ、単結晶16を適切な温度条件で熱処理することができる。図14は図13に示したようにして単結晶16の熱履歴を制御して得られた単結晶16を切断してウエハに分割し、得られたウエハに同じ熱処理を施した場合の、単結晶16の軸方向のトップからの距離とウエハにおける酸素の析出量との関係を示したグラフである。比較例として図22に示した従来の装置を用いて得られた単結晶について、同様にして酸素の析出量を調べた結果を示している。

【0071】図14より明らかのように、単結晶引き上げ時に熱履歴を制御することによりすべての部位で、均一な酸素析出量を有する単結晶を引き上げることができる。

【0072】次に、本発明に係る単結晶引き上げ装置のさらに別の実施例を図面に基づいて説明する。図15はさらに別の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図であり、図16は図15におけるB-B線断面図である。

【0073】この装置においては、冷却板22bの構成及び冷却板22bとヒータ12c、12dとの組み合わせを除いては、図8に示した単結晶引き上げ装置と略同様であり、主に冷却板22bの構成及び冷却板22bとヒータ12c、12dとの組み合わせについて説明する。

【0074】この装置に設けられた冷却板22bは円筒形状であり、坩堝11の周囲に配設されるが、坩堝11の半径方向に移動可能なように8個の部分に分割されている。冷却板22bの材質は図1に示した冷却板22aの材質と同様でよく、中を空洞にして冷媒を流通させることができ望ましい。冷却板22bには、図10に示したメインヒータ12cやサブヒータ12dの構成と同様に移動手段が添設され、レール27の上に摺動部材28を介して載置された冷却板22bがネジ付き棒23bを回転させることにより移動するように構成されている。図16では冷却板22bの下部にのみにレール27が配設された場合を示しているが、冷却板22bの上下にレール27が配設されてもよい。

【0075】図16に示してたように、サブヒータ12dと冷却板22bとは同一の高さで坩堝11の半径方向を移動するため、移動させる際にはお互いが接触しないようにする必要がある。すなわち、サブヒータ12dを坩堝11より遠ざけて冷却板22bを坩堝11の周辺近くまで移動させる場合は、サブヒータ12dを冷却板22bが移動してても接触しないように坩堝11より充分遠くの位置まで移動させ、その後に冷却板22bを坩堝11の周辺近くに移動すればよい。

【0076】このように構成された単結晶引き上げ装置を用いて単結晶を引き上げる場合、メインヒータ12c及びサブヒータ12dを坩堝11の半径方向に移動させて加熱条件を変化させる他は、ほぼ図1に示した単結晶引き上げ装置の場合と略同様の操作を行えばよい。

【0077】まず、シリコンの多結晶原料を坩堝11に充填し、メインヒータ12c及びサブヒータ12dを用いて前記シリコンの多結晶原料を全て溶解させた後、サブヒータ12dのパワーをオフにし、サブヒータ12dを坩堝11の周囲より離れた位置に移動させ、次に冷却板22bを坩堝11の周囲に移動させて坩堝11の下部を冷却し、溶融層13の下部に固体層19を形成する。このように、メインヒータ12c、サブヒータ12d及び冷却板22を移動させることにより、効率的に固体層19を形成することができる。

【0078】図17は上記した装置を用いて固体層19を厚さ100mm形成するのに必要とした時間と、比較

例として図22に示した従来の装置を用いた場合とを比較して示したグラフである。

【0079】図17より明らかなように従来の装置では固体層49を形成するのに約8時間程度かかったのに対し、本実施例の装置を用いた場合には約6時間程度で固体層19を形成することができ、固体層19の形成速度を早めて、1本当たりの単結晶引き上げ時間を短縮することができる。

【0080】また、図18は単結晶を引き上げる際に単結晶の熱履歴を制御するために二つのヒータ12c、12dの位置を調整した場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。このようにメインヒータ12c及びサブヒータ12dを坩堝11から少し離れて位置させることにより、ヒータ12c、12dの加熱領域を広げ、引き上げられた単結晶16を適当な条件で熱処理することができる。

【0081】図19は図18に示したようにして単結晶16の熱履歴を制御して得られた単結晶16を切断してウエハに分割し、得られたウエハに同じ熱処理を施した場合の、単結晶16の軸方向のトップからの距離とウエハにおける酸素の析出量との関係を示したグラフである。比較例として図22に示した従来の装置を用いて得られた単結晶について、同様にして酸素の析出量を調べた結果を示している。

【0082】図19より明らかなように、単結晶引き上げ時に熱履歴を制御することによりすべての部位で均一な酸素析出量を有する単結晶を引き上げることができる。

【0083】

【発明の効果】以上、詳述したように上記(1)記載の単結晶引き上げ装置にあっては、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを上下方向に移動可能とする移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段を用いて上下に移動させることにより、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また、坩堝中の溶融液が凝固しても、前記ヒータを移動させることにより、前記ヒータと前記坩堝との接触による前記ヒータ又は前記坩堝の破壊を防止することができる。また上記(1)記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0084】また上記(2)記載の単結晶引き上げ装置にあっては、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二

段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを前記坩堝の半径方向に移動可能とする前記移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また前記の場合と同様に溶融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊を防止することができる。また上記(2)記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0085】また上記(3)記載の単結晶引き上げ装置にあっては、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に前記冷却板が配設され、該冷却

20 板に該冷却板を上下方向に移動可能とする前記移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や前記冷却板の上下方向の移動により、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また上記(3)記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0086】また上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、(3)記載の冷却板及び移動手段が坩堝の周囲に配設されている場合は、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーを制御し、少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により上下、又は前記坩堝の半径方向に移動させ、前記冷却板を上下に移動することにより、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また前記の場合と同様に溶融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊を防止することができる。また上記単結晶の引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0087】また本発明に係る上記(5)記載の単結晶の引き上げ装置にあっては、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に前記冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を半径方向に移動可能とする移動手段が配設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成し、前記二つのヒータのパワーを制御し、前記冷却板を前記坩堝の半径方向に移動することにより、固体層を

迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また上記(5)記載の単結晶の引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0088】また本発明に係る上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、上記(5)記載の冷却板及び移動手段が坩堝の周囲に配設されている場合は、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして溶融層を形成し、前記二つのヒータのパワーを制御し、少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により上下、又は坩堝の半径方向に移動させ、前記冷却板を前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また前記の場合と同様に溶融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊を防止することができる。また上記単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図である。

【図2】(a)は実施例に係る単結晶引き上げ装置中のサブヒータ及び前記サブヒータに添設されている移動手段の一部を模式的に示した平面図であり、(b)はその正面図である。

【図3】(a)は実施例に係る単結晶引き上げ装置中の冷却板及び前記冷却板に添設されている移動手段の一部を模式的に示した平面図であり、(b)はその正面図である。

【図4】実施例に係る単結晶引き上げ装置において、冷却板をサブヒータ付近まで移動させた場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図5】実施例及び比較例において、坩堝中の溶融液の下部に固体層を厚さ100mm形成する際に要した時間の分布を示したグラフである。

【図6】実施例に係る単結晶引き上げ装置において、引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとしてメインヒータを用いた場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図7】実施例(引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとしてメインヒータを用いた場合)及び比較例により得られた単結晶を用いてウエハを作製し、該ウエハに熱処理を施した際の単結晶の軸方向のトップからの距離と酸素の析出量との関係を示したグラフである。

【図8】別の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図である。

【図9】別の実施例に係る単結晶引き上げ装置の図8におけるA-A線断面図である。

【図10】(a)はサブヒータ12d及びその移動手段

を示した平面図であり、(b)はその背面図である。

【図11】別の実施例に係る単結晶引き上げ装置において、溶融層の下部に固体層を形成する場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図12】別の実施例及び比較例において、坩堝中の溶融液の下部に固体層を厚さ100mm形成する実験を繰り返して行った際に要した時間の分布を示したグラフである。

【図13】メインヒータ及びサブヒータを引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとして用いた場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図14】別の実施例(メインヒータ及びサブヒータを引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとして用いた場合)及び比較例により得られた単結晶を用いてウエハを作製し、該ウエハに熱処理を施した際の単結晶の軸方向のトップからの距離と酸素の析出量との関係を示したグラフである。

【図15】さらに別の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図である。

【図16】さらに別の実施例に係る単結晶引き上げ装置の図15におけるB-B線断面図である。

【図17】さらに別の実施例及び比較例において、坩堝中の溶融液の下部に固体層を厚さ100mm形成する際に要した時間の分布を示したグラフである。

【図18】さらに別の実施例において、メインヒータ及びサブヒータを引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとして用いた場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図19】さらに別の実施例(メインヒータ及びサブヒータを引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとして用いた場合)及び比較例により得られた単結晶を用いてウエハを作製し、該ウエハに熱処理を施した際の単結晶の軸方向のトップからの距離と酸素の析出量との関係を示したグラフである。

【図20】従来のCZ法による単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図である。

【図21】従来のDLCZ法による単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図である。

【図22】従来のDLCZ法において、二つのヒータが用いられた単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図である。

【符号の説明】

11 坩堝

12a、12c メインヒータ

12b、12d サブヒータ

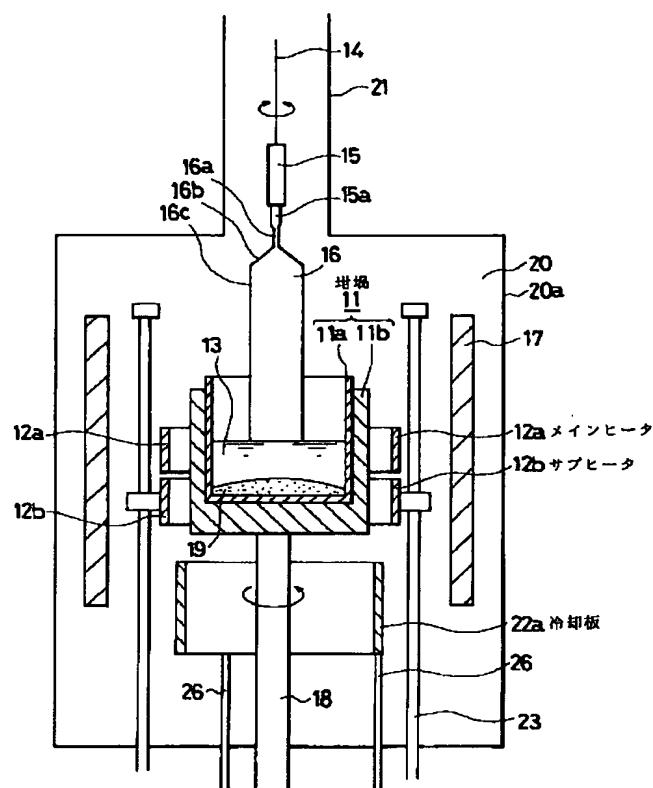
22a、22b 冷却板

23、23a ネジ付き棒

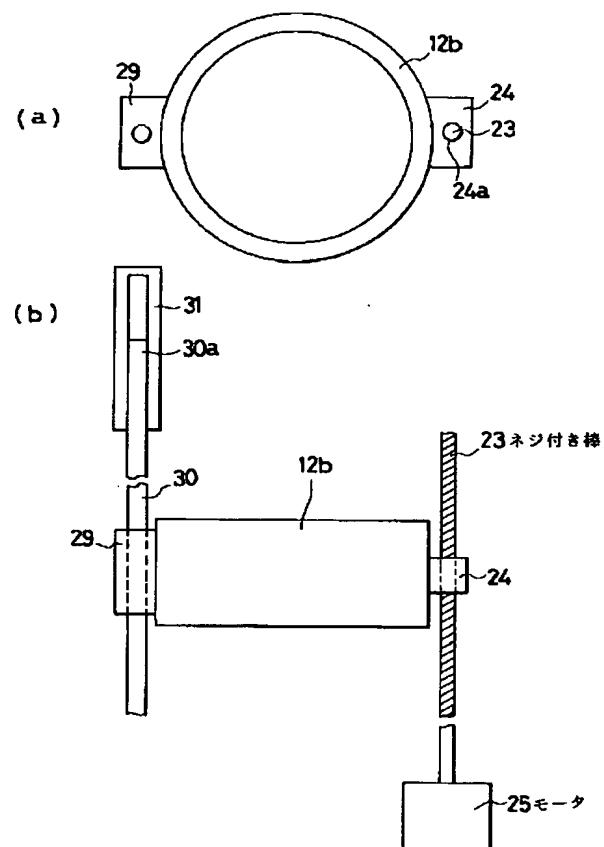
25 モータ

27 レール

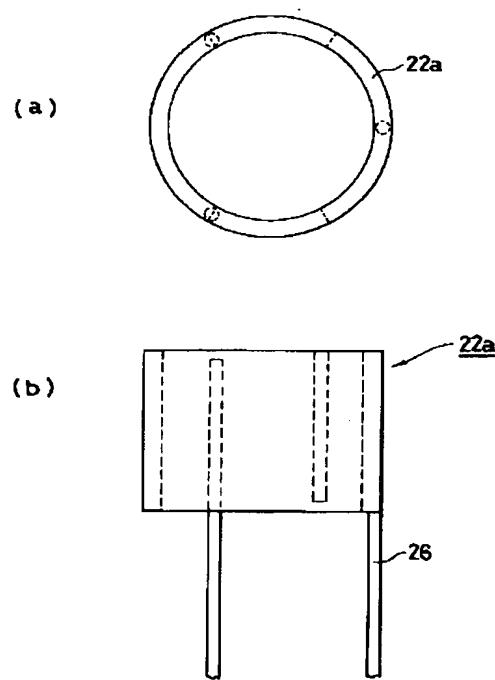
【図01】



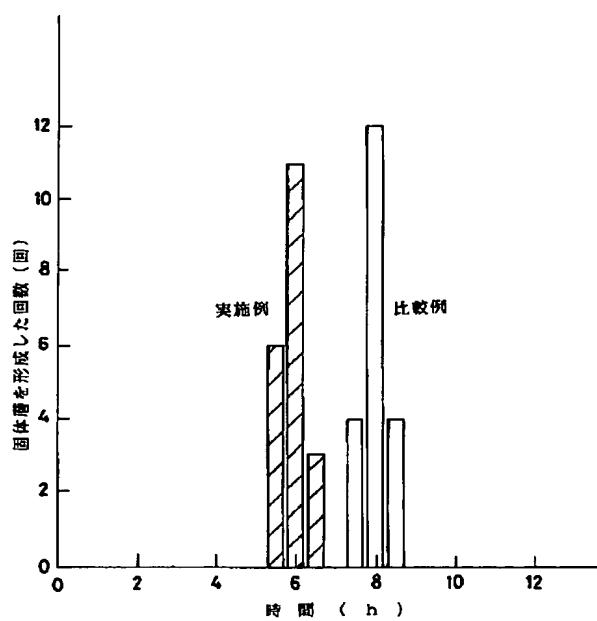
【図02】



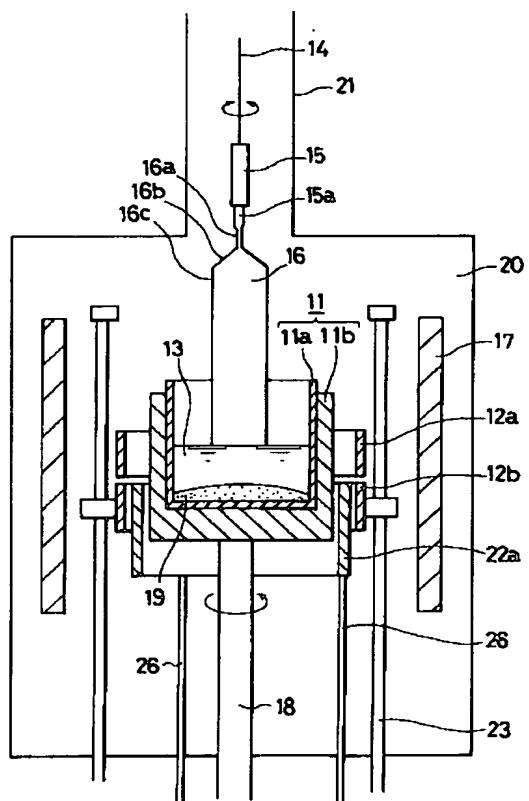
【図03】



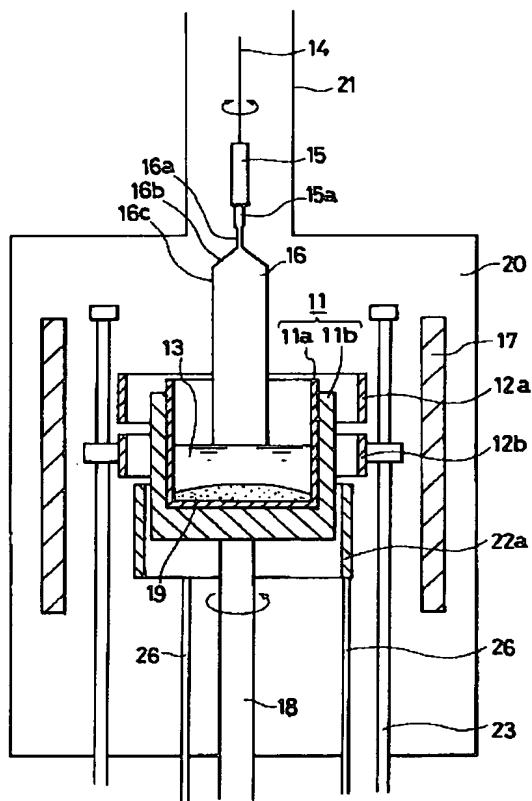
【図05】



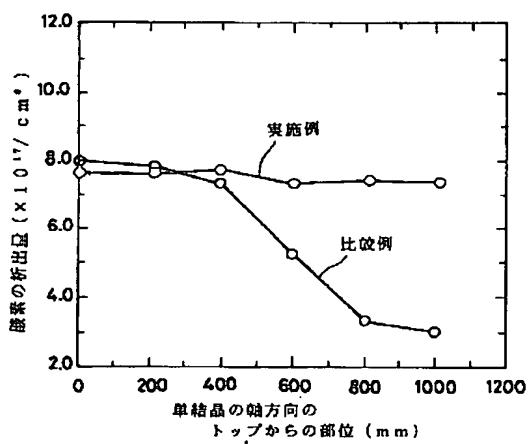
【図04】



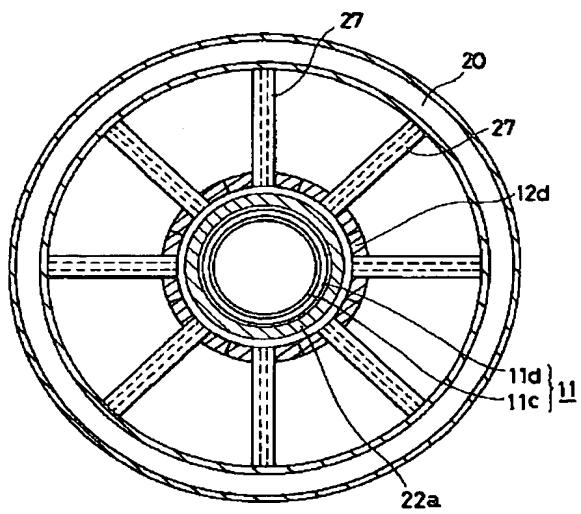
【図06】



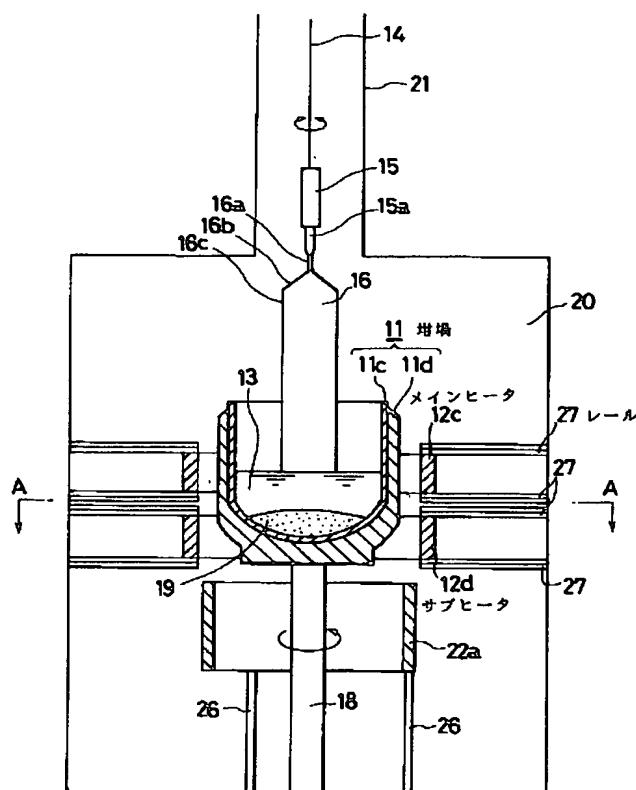
【図07】



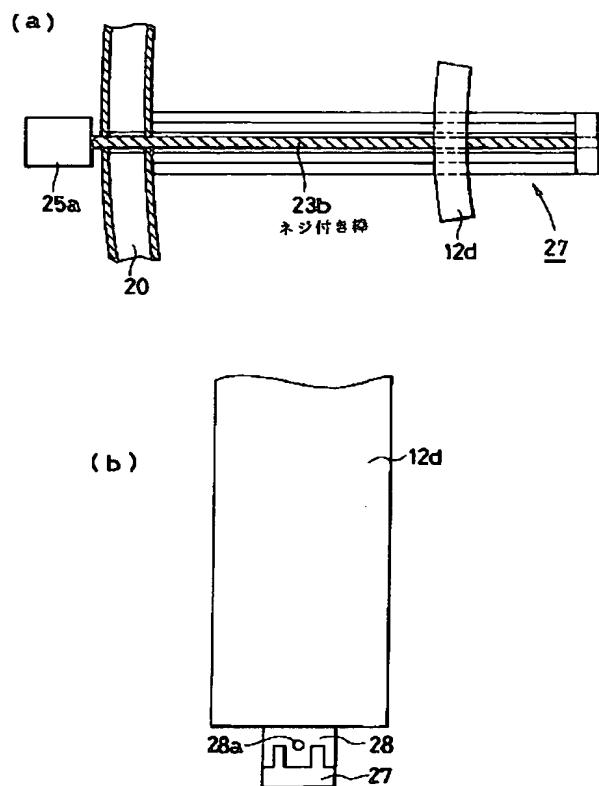
【図09】



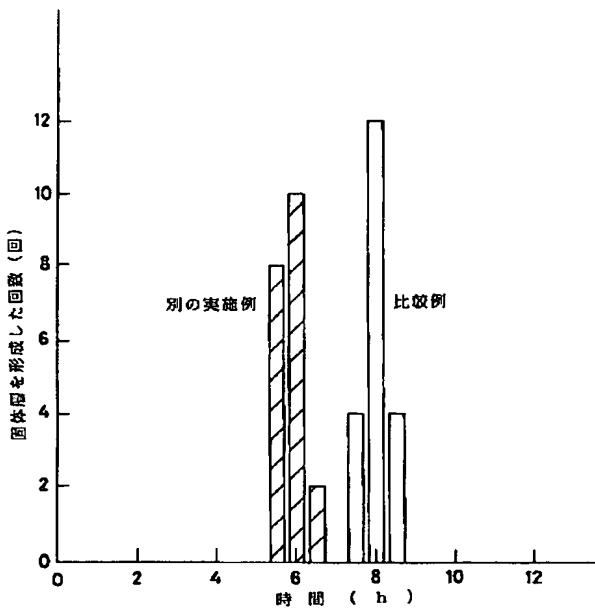
【図08】



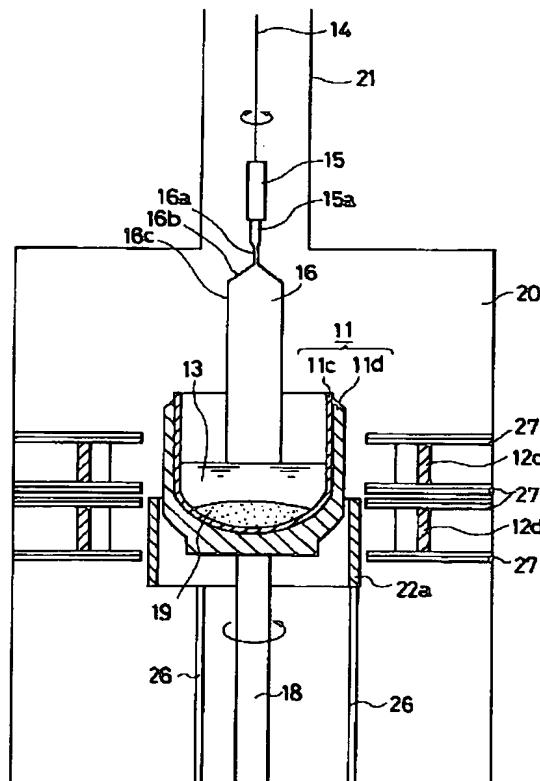
【図10】



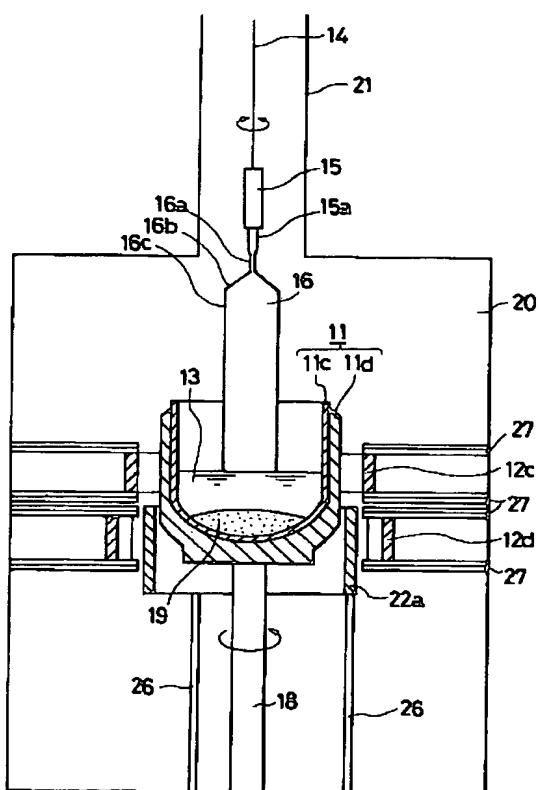
【図12】



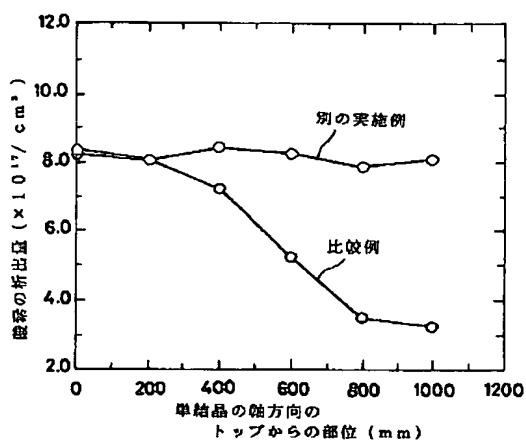
【図13】



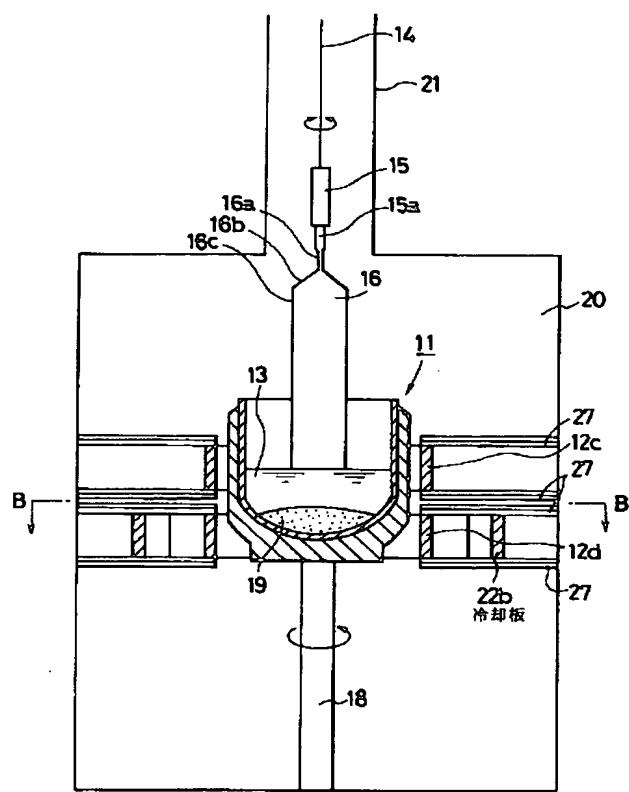
【図11】



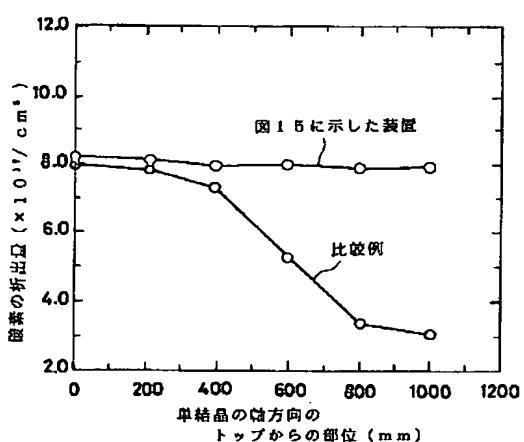
【図14】



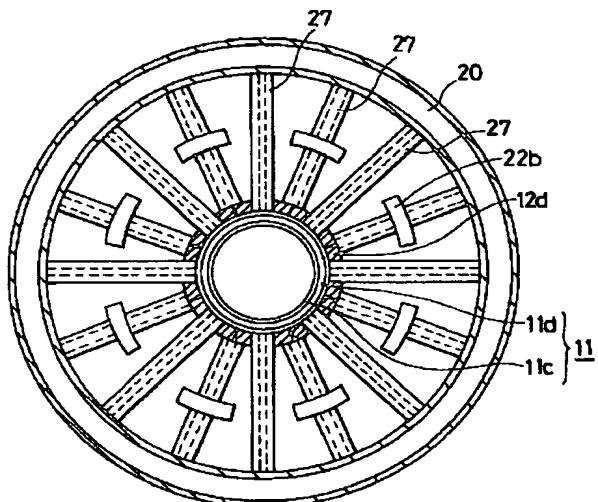
【図15】



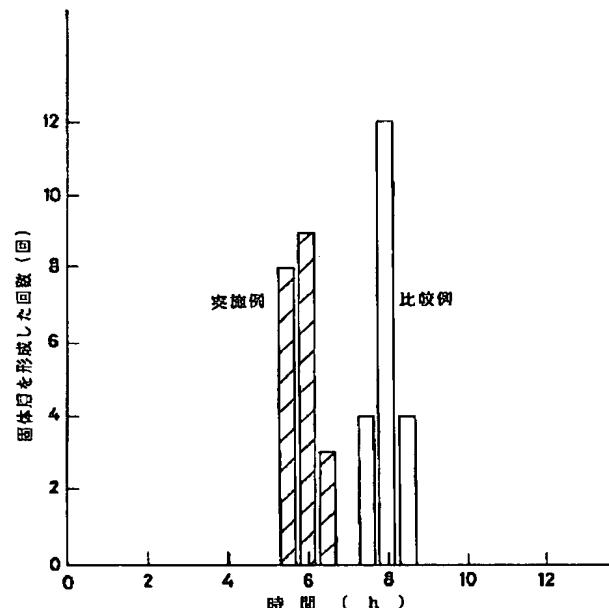
【図19】



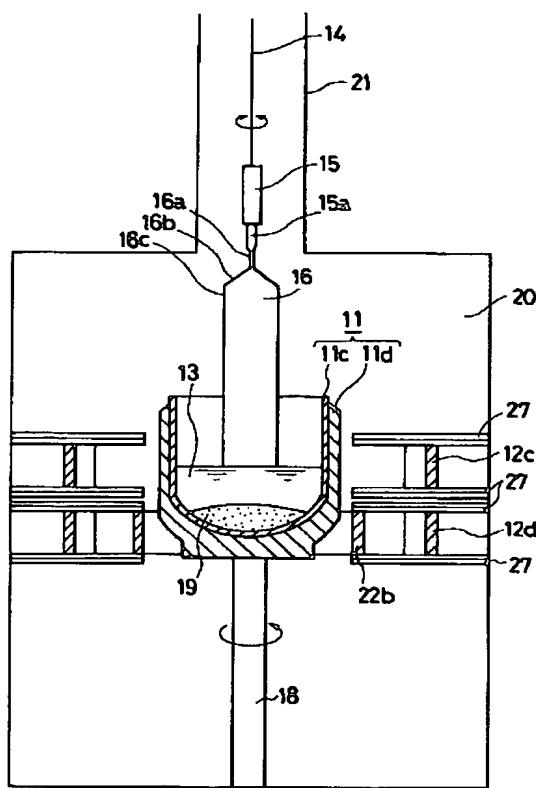
【図16】



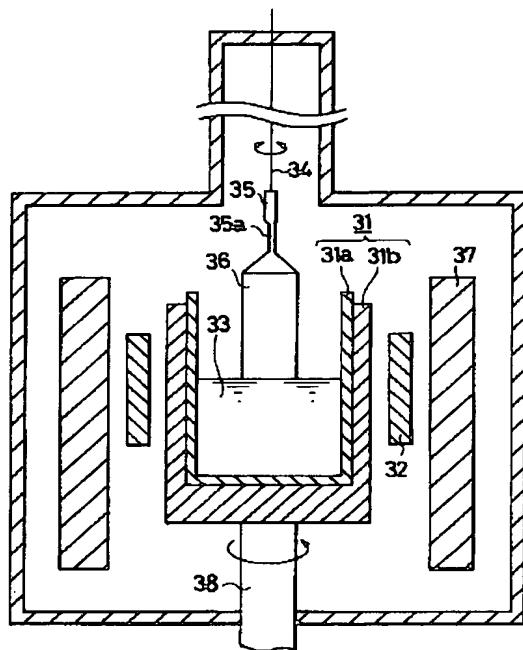
【図17】



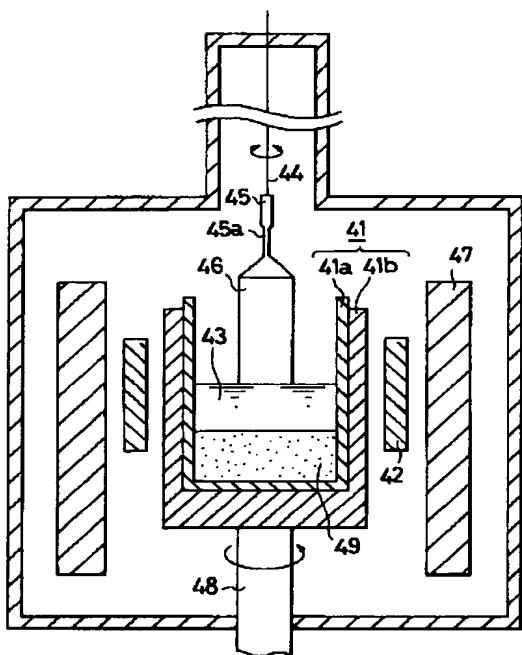
【図18】



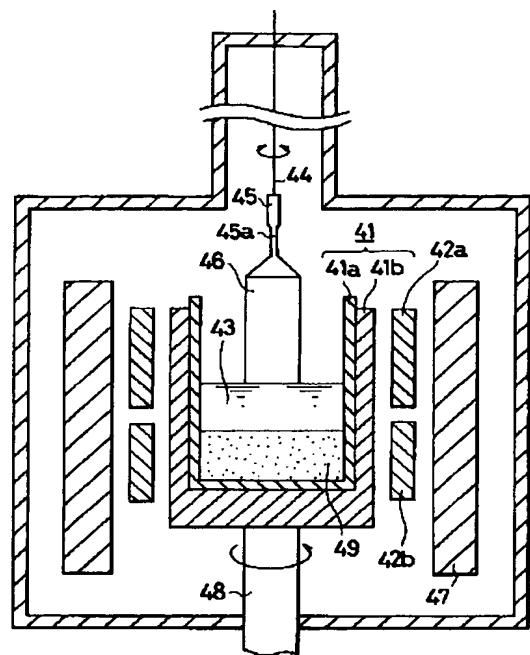
【図20】



【図21】



【図22】



フロントページの続き

(72)発明者 久保 高行
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内

(72)発明者 藤原 秀樹
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内
(72)発明者 稲見 修一
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内